

プラズマ処理装置

発明の背景

発明の属する技術分野

本発明は、マイクロ波などの高周波のエネルギーによりプラズマを発生させ、そのプラズマにより半導体ウエハなどの被処理基板に対して処理を施すプラズマ処理装置に関する。

関連技術の説明

半導体デバイスの製造工程の中に、半導体ウエハ（以下ウエハという）に対してプラズマを用いて処理を行う工程がある。このようなプラズマ処理を行うための装置として図22に示すようなマイクロ波プラズマ処理装置が知られている。この装置は、ウエハWの載置台90を備えた真空容器9の天井部に例えば石英よりなるマイクロ波透過窓91を設けると共に、このマイクロ波透過窓91の上方に平面スロットアンテナ92を設け、マイクロ波透過窓91の上方側に電磁シールド部材96、例えば真空容器9の上端に連続する円筒部分を設けて構成されている。そしてマイクロ波電源部93からマイクロ波を導波管94を介して前記アンテナ92に導き、このアンテナ92から真空容器9内にマイクロ波を供給して、ガス供給部95からの処理ガスをプラズマ化し、そのプラズマにより例えばウエハWの表面に成膜あるいはエッチング処理を施すように構成されている。

このような装置において、ウエハWに対して面内均一性の高い処理を行うためには、均一性の高いプラズマを生成することが必要である。プラズマの均一性を左右する要因の一つとしてマイクロ波の電界強度分布が挙げられ、日本国特許公報 特開平3-68771号公報には、マイクロ波の放射分布（電界強度分布）はアンテナの構造により任意に変更できるが、アンテナに入る前に定在波が存在すると定在波の強弱に応じてマイクロ波が放射されるので、アンテナの直前位置（マイクロ波伝搬路の最終端）にマイクロ波吸収体を設けて定在波を抑えれば放射分布が均一になる旨の記載がある。

ところで本発明者はアンテナ92に金属テープを貼り付けてマイクロ波の放射状態を種々変え、載置台91の位置に取り付けたCCDカメラによりプラズマを

- 2 -

観察したところ、プラズマの明るさ分布の様子にさほど変化がなかった。このことからアンテナ92によりマイクロ波の電界強度分布を調整できても、アンテナ92からプラズマ発生領域までの間に電界強度分布が乱れる要因があるといえる。即ち本発明者はアンテナ92から電界強度分布が均一なマイクロ波が出力されていても、アンテナ92からシース領域（プラズマと透過窓91とプラズマ発光領域との間における発光が見えない領域）までの間に定在波が発生しているという知見を得た。定在波は横方向に広がるいわば横波であって、マイクロ波伝搬空間が大きくなると側壁部分からの電磁波の反射などに基づいて発生すると考えられる。このためこの定在波に対応してマイクロ波の電界分布の均一性が悪くなり、プラズマの立ち方に強弱が起こって面内均一性の高い処理が困難になる。

発明の要約

本発明はこのような事情の下になされたものでありその目的はアンテナとプラズマ発光領域との間において定在波の発生を抑え、均一性の高いプラズマを発生させて均一性の高い処理を行うことができるプラズマ処理装置を提供することにある。

本発明は、高周波電源部から平面状のアンテナ及び高周波透過窓を通じて真空容器内にプラズマ生成用の高周波を供給し、真空容器内に供給された処理ガスを高周波のエネルギーによってプラズマ化し、そのプラズマにより、真空容器内の載置台に載置された基板に対して処理を行うプラズマ処理装置において、定在波の発生を抑えるように構成したものである。

本発明の特徴は、前記高周波透過窓の真空雰囲気側の面からアンテナに至るまでの領域の側周部を囲むように電磁波吸収体を設けたことにある。この場合、電磁波吸収体は周方向に互いに空間部において複数に分割されることが好ましく、各電磁波吸収体の周方向の長さおよび空間部の周方向の長さは、その部位での高周波の波長を λg とすると $\lambda g/2$ よりも小さいことが好ましい。

本発明の他の特徴は、前記高周波透過窓とプラズマ発光領域との間から高周波透過窓のアンテナ側の面に至るまでの領域を、定在波の発生を抑えるために、導電体により高周波の伝播方向と直交方向に分割することにある。この場合、前記

導電体の載置台側の端部は、プラズマ発光領域に食い込んでいることが好ましく、その食い込み量は、5～10mmとすることが好適である。

前記導電体は、中央部が円形またはリング状に形成された第1の導電体とこの第1の導電体の外側に第1の導電体と同心円状に設けられたリング状の第2の導電体と含むことが好適である。互いに径方向に隣り合う第1および第2の導電体の径方向の離間距離 R_2 は、高周波の波長を λ とすると $\lambda/2 \leq R_2 < \lambda$ とすることが好適である。また、第1の導電体の内径 R_1 は、例えば $\lambda/2 \leq R_1 < \lambda$ とすることが好適である。更に放射状に延びる導電体を複数設けて前記領域を周方向に分割してもよい。前記導電体を設ける領域は例えば高周波透過窓のみであってもよく、この場合高周波透過窓が導電体により分割される。またその領域は、例えば高周波透過窓とプラズマ発光領域との間であってもよく、この場合導電体は、処理ガスを載置台上の基板に供給するためのガス供給部を兼ねていてもよい。

図面の簡単な説明

図1は、本発明によるプラズマ処理装置の第1の実施形態を示す縦断面図、

図2は、図1に示すプラズマ処理装置における電磁波吸収体の配置の一例を示す図であって、図1におけるII-II線に沿った断面図に現れる部材のうちの説明に必要な一部の部材のみを表示した図、

図3は、図2に示す電磁波吸収体の配置を詳細に示す拡大図、

図4は、図2に示した電磁波吸収体の変形例を示す横断面図、

図5は、図2に示した電磁波吸収体の他の変形例を示す図であって、図2と同じ視点からの図、

図6～図8は、図2及び図3に示す実施形態の作用効果を確認するための実験結果を示すグラフ、

図9は、本発明によるプラズマ処理装置の第2の実施形態を示す縦断面図、

図10は、図9に示す導電体の配置を示す図であって、図9におけるX-X線に沿った横断面図、

図11は、図10に示した導電体の配置の変形例を示す図10と同じ視点から

の横断面図、

図12は、図9に示す導電体とプラズマ発光領域との位置関係を説明する図、

図13は、図9に示すプラズマ処理装置の変形例を示す縦断面図であって、ガス供給部を導電体として利用した構成例を示す図、

図14は、図13に示すガス供給部を図13に示す矢印XIV方向から見た底面図

図15は、図9及び図10に示した導電体の配置の変形例を示す横断面図

図16は、図15に示した導電体の配置の変形例を示す横断面図、

図17は、本発明によるプラズマ処理装置の第3の実施形態を示す縦断面図、

図18は、図17に示す導電膜の役割を説明する図、

図19は、図17に示す載置台上のウエハと導電膜との間における電界強度の減衰特性を説明する図、

図20は、図17に示した実施形態の変形例を示す図、

図21は、図17に示した実施形態の他の変形例を示す図、そして、

図22は、従来のプラズマ処理装置を概略的に示す図、である。

好適な実施形態の説明

図1は本発明のプラズマ処理装置の実施の形態を示す断面図である。このプラズマ処理装置はアルミニウム製の円筒状の真空容器1を備えている。真空容器1には、ウエハWすなわち基板の載置台2が設けられている。真空容器1の底部には、真空排気を行うための排気管11が接続され、また真空容器1の側壁にはガス供給部12が設けられている。載置台2には例えば13.56MHzのバイアス電源部21に接続されたバイアス印加用の電極22が埋設されている。更に載置台2には図示しない温度調整部が設けられていて、これによりウエハWを所定の温度に調整できる。真空容器1の天井部には、誘電体例えば石英またはセラミックス(A1₂O₃又はAlN)からなるマイクロ波透過窓3が、その下方側の領域を真空雰囲気とできるように、シール材3aにより気密に封止して配置されている。窓3の上方には、多数のスロット31が形成された平面状のアンテナ32が、窓3に対向して設けられている。

アンテナ 32 の中央部には、導波路である同軸の導波管 33 の軸部 33 a の一端が接続されている。同軸の導波管 33 の外管 33 b の下端部は、外側に折り曲げられて広げられ、更に下側に屈曲して、偏平な円筒状の拡張部 34 をなしている。同軸の導波管 33 の他端部の側面には、導波路である短径状の導波管 35 の一端が接続されており、この短径状の導波管 35 の他端部には、インピーダンス整合部 36 を介してマイクロ波電源部 37 が設けられている。

マイクロ波透過窓 3 の周囲には、真空容器 1 の上部に連続する電磁シールド部材に相当する円筒部 23 が設けられている。円筒部 23 の上部は、拡張部 34 の上面レベルに位置しており、その中に拡張部 34 が収まっている。円筒部 23 の内周面には、マイクロ波を吸収する電磁波吸収体 4 が積層されている。電磁波吸収体 4 は、マイクロ波の反射を抑制して定在波が立つのを抑える。電磁波吸収体 4 としては、例えばカーボン等を含む抵抗体や水などの誘電損失の大きい誘電体例えばニコライト（日本高周波株式会社製の商品名）を用いることができ、またはフェライト系セラミックスなどの磁性体を用いてもよく、あるいはこれらの組み合わせであってもよい。水を電磁波吸収体 4 として用いる場合には、円筒部 23 の内周面にマイクロ波伝搬領域を囲むように筒状のジャケット部を形成すると共にマイクロ波伝播領域側を例えばガラス板で構成し、ジャケット部の中に水を通すようにすればよい。

次に、作用について、基板上にポリシリコン膜を形成する場合を例にとって説明する。先ず図示しないゲートバルブを開いて、図示しない搬送アームによりウェハ W を載置台 2 上に載置する。次いで前記ゲートバルブを閉じた後、真空容器 1 内を排気して所定の真空度まで真空引きし、ガス供給部 12 から成膜ガス例えば SiH_4 ガスと、キャリアガス例えば Ar ガスとを真空容器 1 内に供給する。そしてマイクロ波電源部 37 から例えば 2.45 GHz、2.5 kw のマイクロ波を出力すると共に、バイアス電源部 21 から載置台 2 に例えば 13.56 MHz、1.5 kw のバイアス電力を印加する。

マイクロ波電源部 37 からのマイクロ波は導波管 35、33 を介して拡張部 34 内に伝播され、アンテナ 32 のスロット 31 を通って真空容器 1 内に供給され、このマイクロ波により処理ガスがプラズマ化される。そして SiH_4 ガスが電離

して生成された活性種がウエハW表面に付着してポリシリコン膜が成膜される。

ここでアンテナ32から放射されたマイクロ波において、マイクロ波透過窓3の下面（真空雰囲気側の面）に至るまでに定在波（横波）が立とうとしても、マイクロ波の伝搬空間が電磁波吸収体4により囲まれているので、マイクロ波がこの電磁波吸収体4により吸収され、このため定在波の発生が抑えられる。

従って、定在波の発生が抑えられた状態でマイクロ波がマイクロ波透過窓3を透過して真空容器1内に導入されるので、定在波による電界強度分布の影響が少なくなり、この結果プラズマ密度が均一になり、ウエハWに対して面内分布が均一なプラズマ処理、この例では成膜処理を行うことができる。

なお、アンテナ32から放射されたマイクロ波が真空容器1内でプラズマを発生させるに至るまでの領域における定在波の発生を抑えるという目的を鑑みれば、上述の例のようにアンテナ4からマイクロ波透過窓3の下面に至るまでの領域全体を電磁波吸収体4で囲むことが望ましいが、高さ方向（マイクロ波の伝搬方向）における一部の領域例えばアンテナ32とマイクロ波透過窓3との間の空間のみを電磁波吸収体4で囲むようにしてもよいし、マイクロ波透過窓3のみを囲むようにしてもよい。

なお、電磁波吸収体4は、アンテナ4からマイクロ波透過窓3の下面に至るまでの領域の側周部の全周に亘って設けてもよいが、図2及び図3に示すように電磁波吸収体4を周方向に互いに空間部41を置いてつまり間隙を介して多数に分割してもよい。

以下に、このような構成の着眼点および作用効果について説明する。本発明者は、導波管3-3の外管3-3bの途中に導波管を分岐させてそこにプローブを設置し、アンテナ4側からの反射波を検出したところ、電磁波吸収体4を設けることにより、電磁波吸収体4を全く設けない場合に比べて反射波が抑えられることを把握している。このことは、電磁波吸収体4を設けることにより、アンテナ4からマイクロ波透過窓3の下面に至るまでの領域における横方向の定在波（横波）が抑えられていることに対応していると考えられる。

一方、電磁波吸収体4によりマイクロ波の反射を抑えることはできるが、マイクロ波が空間から電磁波吸収体4にあたるときに、マイクロ波が伝播している領

域のインピーダンスが急激に変わることになる。例えば電磁波吸収体4として既述のニコライトを用いたとすると、この材質は比誘電率 ϵ がおおよそ9であるため、空間に対する電磁波吸収体4のインピーダンスの比は、 $1/\epsilon^{1/2}$ 、つまり $1/3$ に下がることになる。このため誘電率が急激に変わる媒質の境界でマイクロ波の一部が跳ね返されてしまうと考えられる。

そこで電磁波吸収体4を分割してその間に空間部を形成すれば、横波から見ると、誘電率が急激に変わるのではなく緩やかに変わるといえる。

ここで、電磁波吸収体4とこれに隣接する電磁波吸収体4及び空間部41とは、上下方向に厚さを持つコンデンサと等価なものとしてとらえることができる。このため、このコンデンサの比誘電率 ϵ_r は、図3に示すように互いに隣接する電磁波吸収体4及び空間部41の横断面積の合計に対する電磁波吸収体4の横断面積の割合（電磁波吸収体4の占有率）を x とし、電磁波吸収体4及び空間部41の比誘電率 ϵ_r をそれぞれ ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} とすると、コンデンサの比誘電率 ϵ_r つまり電磁波吸収体4及び空間部41を合わせた電磁波吸収部の比誘電率 ϵ_r は、

$$\epsilon_r = \epsilon_{r1} \cdot x + \epsilon_{r2} \cdot (1 - x)$$

となる。

このように電磁波吸収体4を間引きすれば、横波からみると、上述の電磁波吸収部の誘電率が緩やかに変わるので、つまりインピーダンスが緩やかに変わるので、反射波が少なくなり、結果としてアンテナ32の下方側の空間のマイクロ波の乱れが少なく、横方向にみたときに均一性の高いプラズマが得られる。

この場合、電磁波吸収体4の周方向の長さ L_1 および空間部41の長さ L_2 は、いずれも、マイクロ波の波長を λ_g とすると、 $\lambda_g/2$ よりも小さいことが好ましい。その理由については、もし L_1 が $\lambda_g/2$ よりも大きいと、横波の $1/2$ 波長分が電磁波吸収体4に当たってそこで急激にインピーダンスが変わるので反射される確率が高くなるし、 L_2 が $\lambda_g/2$ よりも大きいと、横波の一波長分が空間部41を通り抜けてその外側のアルミニウムの円筒部23に当たって跳ね返されてしまい、結果として反射波が多くなるからである。なお、 L_1 、 L_2 は、それらがあまり小さいと制作コストが増加するため、 $\lambda_g/4$ より大きい

ことが好ましい。

電磁波吸収体4の横断面形状は、図2及び図3に示すものに限定されるものではなく、図4に示すように内側に向けて横幅（周方向の長さ）が変化する形状としてもよい。すなわち、図4（a）に示すような五角形、図4（b）に示すような三角形、または図4（c）に示すような円弧状の輪郭を持つ断面形状としてもよい。このように構成すれば、横波からみると各電磁波吸収体4の誘電率が徐々に変化するため、より効果的に横波の反射を抑えることができる。

また、電磁波吸収体4を全周にわたって設ける場合でも、図5に示すように電磁波吸収体4の内周側に内側に向けて幅が減少してゆく複数の突起を設けることにより、図4に示す実施形態と同様の効果を得ることが可能である。

ここで、図2および図3に示すように、電磁波吸収体4を複数分割して各電磁波吸収体4の間に空間部41を設けた場合におけるマイクロ波の挙動を評価する実験結果について説明する。この実験は、図1の装置においてアンテナ31と透過窓3との間における領域の側周部に、横幅（周方向の長さ）が2 cm、縦の長さがおよそ4.5 cm、厚さ1 cmの直方体形状のニコライトからなる誘電体を周方向に沿って間隔をおいて並べ、電磁波吸収体4の占有率 x を0%（電磁波吸収体を用いない）、33%（互いに隣接する電磁波吸収体4の間隔が4 cm）、67%（互いに隣接する電磁波吸収体4の間隔が1 cm）の3通りに設定して行った。

各々の条件下でプローブを用いてイオン飽和電流を測定したところ、図6～図8に示す結果がそれぞれ得られた。測定は、プローブ1を円筒体23の中心部、~~プローブ2をプローブ1~~から半径方向外側に3 cm離れた位置、プローブ3をプローブ1から半径方向外側に12 cm離れた位置にそれぞれ配置し、プローブ1～3を同じ方向に向け、その方向を順次変化させて行っている。従って、図6～図8のグラフにおいて、プローブ1～3の検出電流値のずれ（3つの線のずれ）は径方向の電流密度の分布状況に対応しており、プラズマの直径方向の密度分布の指標となる。図6～図8のグラフより、電磁波吸収体4の占有率 x が0%つまり電磁波吸収体4を設けない場合に比べて、電磁波吸収体4を間隔をおいて設ける場合の方が電流密度の分布の均一性が高いといえる。

なお、上記の説明は、アンテナ 3 1 および高周波透過窓 3 がともに円盤状の場合を例にとり、それらの周囲に電磁波吸収体 4 を円形に配置した実施形態に即して行われているが、基板が円形のウエハWではなく例えば矩形のLCD基板である場合には、アンテナ 3 1 および高周波透過窓 3 が矩形に形成される場合もある。このような場合には、電磁波吸収体 4 はアンテナ 3 1 および高周波透過窓 3 の形状に倣ってそれらの周囲に略矩形状に配置してもよく、この場合にも上記と略同一の作用効果が得られる。

図 9 及び図 10 は本発明の他の実施の形態を示す図である。この例では、マイクロ波透過窓 3 内に、小径のリング状の第 1 の導電体 5 1 及び大径のリング状の第 2 の導電体 5 2 を、載置台 2 上のウエハWの中心軸を中心として同心円状に設け、これによりマイクロ波透過窓 3 をマイクロ波の伝播方向と直交する方向、この例では水平方向に同心円状に分割している。導電体 5 1, 5 2 はマイクロ波透過窓 3 の上面から下面まで突き抜けるように設けられ、その材質としては例えばアルミニウムなどを用いることができる。マイクロ波透過窓 3 を同心円状に分割するとは、中心部が円形またはリング状の領域であり、更にその外側がリング状の領域という意味である。また分割された領域 A 1, A 2 の径方向の長さ R はおよそマイクロ波の半波長 ($\lambda/2$) の長さに設定されている。

この場合、マイクロ波の縦方向の波は導電体 5 1, 5 2 で分割された領域を通るが、分割領域の径方向の長さが $\lambda/2$ に設定されているので、横波が立とうとしても両側に導電体 5 1, 5 2 があるため立ちにくい。即ち定在波の発生が抑えられる。定在波を立ちにくくするためには、上記の R は $\lambda/2 \leq R < \lambda$ であることが好ましい。マイクロ波の周波数が 2.45 GHz の場合 λ はおよそ 12 cm であり、導電体 5 2 の直径はおよそ 18 cm である。なお 20 cm サイズのウエハWを処理する場合、導電体 5 2 の外側から例えば $\lambda/2 \sim \lambda$ 程度の距離に円筒部 2 3 が存在するので、導電体 5 2 よりも外側の窓部分においても定在波が立ちにくい。従ってマイクロ波の電界強度の均一性が高いので、結果として面内均一性の高い処理をウエハWに施すことができる。

図 11 に示すように、第 1 の導電体 5 1 と第 2 の導電体 5 2 との間に放射状に

複数の導電体 5 3 を設けて、周方向に領域を分割してもよい。更に、第 2 の導電体 5 2 の外側の領域に放射状に複数の導電体 5 4 を設けて、周方向に領域を分割してもよい。この場合分割領域の大きさについては、径方向の midpoint（例えば導電体 5 3 の midpoint）を通る周方向の長さ S （導電体 5 1 をなす円の中心を中心とし、前記 midpoint を半径としたときの円弧の長さ）が $\lambda/2 \leq S < \lambda$ であることが好ましく、このような構成によれば周方向に立とうとする定在波の発生を抑えることができるという利点がある。

ここで、導電体 5 1 ～ 5 4 の下端部は、図 1 2 (a) に示すようにプラズマ発光領域 P に食い込んでいることが好ましい。図 1 2 (a) において破線でその境界が示されるプラズマ発光領域 P は、マイクロ波透過窓 3 の下面よりもやや下方側、例えば 5 ～ 10 mm 程度下方側に存在し、その間の領域はシース領域 1 0 0 となっている。ここで、例えば図 1 2 (b) に示すように導電体 5 1 ～ 5 4 の下端部をプラズマ発光領域 P の上面とほぼ同じ位置に設定すると、横波が導電体 5 1 ～ 5 4 の下側のシース領域をすり抜けて、結果として定在波が発生してしまう。これに対して導電体 5 1 ～ 5 4 の下端部をプラズマ発光領域 P に食い込ませておけば、プラズマ発光領域 P の上面に段差ができるので横波がすり抜けにくくなり、つまり伝搬効率が悪くなり、定在波が立ちにくくなる。なお、導電体 5 1 ～ 5 4 のプラズマ発光領域 P への食い込み量 d は、5 ～ 10 mm 程度とすることが好適である。

図 1 3 及び図 1 4 は本発明の更に他の実施の形態を示す図であり、この例ではマイクロ波透過窓 3 の下面（真空雰囲気側の面）とプラズマ発光領域との間（シース領域）に、導電体例えばアルミニウムよりなるガス供給部 6 が設けられている。ガス供給部 6 は、載置台 2 上のウエハ W の中心軸（真空容器 1 の中心軸）を軸とし第 1 の導電体に相当する円形部分 6 1 と、この円形部分 6 1 の外側に円形部分 6 1 と同心円状に設けられた第 2 の導電体に相当するリング状部分 6 2 と、円形部分 6 1 とリング状部分 6 2 との間に径方向に伸びる 4 本の支持管 6 3 とを備えている。

円形部分 6 1 及びリング状部分 6 2 は内部にガス流路が形成されており、これ

らガス流路は導電体よりなる支持管63の内部空間を介して連通している。円形部分61及びリング状部分62の下面側には多数のガス吐出孔64が形成され、ガス流路を通ってきた処理ガスがガス吐出孔64から真空容器1内に供給される。円形部分61の上面には導電体よりなるガス導入管65が垂直に接続されており、このガス導入管65はマイクロ波透過窓3及びアンテナ32を貫通し、内管33aの中を通して導波管35を介して外部に伸び、図示しないガス供給源に接続されている。

円形部分61はマイクロ波透過窓3を貫通する構造であってもよいし、更にアンテナ32の下面に接続された構造であってもよい。また円形部分61の代わりにリング状体を用いてもよく、その場合これらの内径は、 $\lambda/2 \leq \text{内径} < \lambda$ の大きさであることが好ましい。またガス導入管65を用いる場合、マイクロ波から見るとガス導入管65と軸部33aとが同軸導波管になり、この間をマイクロ波が伝搬するので、例えばアンテナ32と透過窓3との間において、軸部33aの内径よりも大きな径で、ガス導入管65をシールド部材で囲むようにすることが好ましい。

プラズマ発生時にはシース領域は例えばマイクロ波透過窓3の下面から1cm下方ぐらいまで存在し、ガス供給部6はこのシース領域が形成される領域内に収まる大きさに構成されている。ガス供給部6はシース領域で定在波が発生するのを抑えるために円形部分61及びリング状部分62によりマイクロ波の伝搬領域を分割する役割をもっており、このため円形部分61とリング状部分62との径方向の離間距離Qは $\lambda/2 \leq Q < \lambda$ の大きさに設定されている。

プラズマ発光領域におけるウエハWと平行な面方向のプラズマ密度分布（活性粒子の密度分布）は、プラズマ発光領域にさしかかる直前のマイクロ波の電界強度分布に大きく依存するので、シース領域にて定在波の発生を抑制することはプラズマ密度の均一性を高める上で有効である。また上述のようにガス供給部6を構成することにより真空容器1内へのマイクロ波（縦波）の導入を妨げることなく広い範囲に亘って処理ガスをウエハWに供給することができ、この点からもウエハWに対するプラズマ処理についての高い面内均一性が得られる。

既述の理由から、ガス供給部6の下端側はプラズマの発光領域内に多少入り込

んでいることが好ましい。また、シース領域を分割する導電体にガス供給部の機能を持たせなくてもよく、例えばマイクロ波透過窓3の下面に例えば導電体をなす金属テープを貼り付けてマイクロ波伝搬領域を既述のように分割してもよい。更に本発明では図1のように電磁波吸収体4を用いる構成、マイクロ波透過窓3に導電体51, 52, 53, 54を設ける構成、シース領域に導電体を設ける構成の2つ以上を組み合わせてもよい。

上記の実施形態は、処理対象基板がウエハWである場合のみならず、液晶ディスプレイ用ガラス基板上にプラズマ処理を施す場合にも適用できる。この場合には真空容器1を方形状に形成し、例えば図7に示すようにマイクロ波透過窓3を複数の導電体55によりX方向に分割してもよいし、あるいは複数の導電体55, 56により図8に示すようにX, Y方向に分割してもよい。この場合互いに隣接する導電体55(56)の離間距離 $B1$ ($B2$)は $\lambda/2 \leq B1(B2) < \lambda$ であることが好ましい。

なお処理ガスをプラズマ化するための電源部としてはマイクロ波電源部に限らずRF電源部やUHF電源部でもよく、本明細書では、これらを高周波電源部として扱っている。またプラズマを生成する手法は、例えばマイクロ波と磁場とにより電子サイクロトロン共鳴を起こして処理ガスをプラズマ化する方法でもよい。更にまた上記の実施形態は、成膜処理に限らずエッチングやアッシング処理を行う場合に適用してもよい。

図17は本発明によるプラズマ処理装置の更に他の実施の形態を示す断面図である。このプラズマ処理装置は例えばアルミニウム製の円筒状の真空容器101を備えており、この真空容器1には基板であるウエハWの載置台102が設けられると共に、底部には真空排気を行うための排気管111が接続され、また例えば側壁にはガス供給部112が設けられている。載置台102には例えば13.56MHzのバイアス電源部121に接続されたバイアス印加用の電極122が埋設されると共に、図示しない温度調整部が設けられていてウエハWを所定の温度に調整できるように構成されている。

真空容器101の上部には例えば石英よりなる厚さ3~5cm程度の板状の誘

電体 3 が下方側の領域を真空雰囲気とするようにシール材 131 により気密に封止して配置されている。誘電体 3 の中央部には導波路である同軸の導波管 133 の軸部 133a の一端部が上面から下面に亘って貫通して設けられている。同軸の導波管 133 の外管 133b の下端部は外側に折り曲げられて広げられ更に下側に屈曲して扁平な円筒状の拡張部 134 をなし、誘電体 103 の上に被せて設けられている。同軸の導波管 133 の他端部の側面には導波路である矩形状の導波管 135 の一端部が接続されており、この矩形状の導波管 135 の他端部にはインピーダンス整合部 136 を介してマイクロ波電源部 137 が設けられている。

誘電体 103 の下面（載置台 102 側の面）には導電膜 104 例えばアルミニウム等の金属からなる導電膜 104 が形成されている。この導電膜 104 に関して説明する。一般に導電体例えば金属は図 18 に示すように電界を吸収し、上面にマイクロ波が入射したとすると、電界強度は上面から下面に向かうにつれて指数関数的に減少する。金属表面（上面）の電界強度 E が $1/e$ （ e は自然対数の底）になる厚さ（深さ）は表皮厚さ（表皮深さ）と呼ばれ、金属がこの表皮厚さよりも薄い場合には下側（裏側）に電界が抜ける。このようにして抜けた電界はエバネセントな電界と呼ばれ伝播しない。導電膜 104 はウエハ W 側に電界が抜けるように表皮厚さよりも薄くあるいは表皮厚さ程度に作っており、例えば成膜されたアルミニウム膜の場合表皮厚さは成膜手段にも依るが $3 \sim 5 \mu\text{m}$ であるから導電膜 104 の膜厚 D は例えばおよそ $1 \sim 2 \mu\text{m}$ に設定されている（図面では導電膜 104 の厚さは大きく描いている）。

そして導電膜 104 から抜けたエバネセントな電界の強度は図 19 に示すように下方に向かうにつれて減衰するが、プラズマは導電膜 104 の直下で生成されるので、十分な電界が確保され得る。従ってウエハ W と導電膜 104 との距離 L があまり短いとガスの拡散領域が狭くなるのでガスの供給手法が難しくなり、また逆に L が大きいとプラズマの周辺壁面への拡散消失の度合いが大きくなり、マイクロ波電源部 137 の電力を大きくする必要があるため、例えば L は $5 \sim 10 \text{ cm}$ 程度が好ましい。

また導波管 133 の先端部の拡張部 134 は真空容器 101 内に位置しており

、拡張部134と真空容器101の内壁との間の空間S1はシール部材131によりプラズマの発生領域から区画されている。この空間S1が大気雰囲気であると誘電体103が圧力差により変形するおそれがあるので、誘電体103の形状を安定化するために、図示しない排気路を介して空間S1は真空雰囲気にしても良い。更にまた導波管133の内部空間は大気雰囲気の状態にしておくと、真空容器101内に入り込んでいる部位が圧力差で変形するおそれがあるので、真空容器101の壁の中に位置している部位においてシール部材132を用いて上側と下側とを区画し、下側空間S2を図示しない排気路を介して真空雰囲気にしてもよい。

なお誘電体104は、導波管133の拡張部134の形状に適合するものでなくとも、例えば図20のように薄いガラス板により構成して拡張部134との間に空間が形成されていてもよく、この場合でも上述のようにシールして拡張部134の内、外を真空雰囲気とすれば拡張部134の形状が安定する。

次に上述実施の形態の作用について、基板上にポリシリコン膜を形成する場合を例にとって説明する。まず、図示しないゲートバルブを開いて、図示しない搬送アームによりウエハWを載置台102上に載置する。次いで、前記ゲートバルブを閉じた後、真空容器101内を排気して所定の真空度まで真空引きし、ガス供給部112から成膜ガスである例えばSiH₄ガス及びキャリアガスである例えばArガスを真空容器101内に供給する。そしてマイクロ波電源部137から例えば2.45GHz、2.5kwのマイクロ波を出力すると共に、バイアス電源部121から載置台2に例えば13.56MHz、1.5kwのバイアス電力を印加する。

マイクロ波電源部137からのマイクロ波は、導波管135、133を介して拡張部134内に伝播され、誘電体103を通過して導電膜104に入射する。導電膜104は既述したように表皮厚さよりも薄いあるいは表皮膜厚程度なのでここから電界がリークして真空容器101内に入り込み、この電界（エバネセント電界）により処理ガスがプラズマ化される。そしてSiH₄ガスが電離して生成された活性種がウエハW表面に付着してポリシリコン膜が成膜される。

上述実施の形態によれば導波管133から伝搬したマイクロ波はいわばアンテ

ナである導電膜104に達し、この導電膜104を通り抜けたエバネセント電界は伝播しないので定在波が立ちにくくなり、定在波による電界強度分布の影響が少なくなり、この結果ウエハW上でのプラズマ密度の均一性が高く、ウエハWに対して面内分布が均一なプラズマ処理、この例では成膜処理を行うことができる。

導電膜104は均一な厚さに形成してもよいが、図21に示すように中央部よりも周縁部の方が厚さが薄くなるように形成してもよく、このようにすれば周縁部でリークする電界強度が中央部よりも大きくなるので、それによって周縁部で密度の高いプラズマが生成される。プラズマは生成部から離れるにつれ密度の低い部分へ拡散し、また真空容器の内壁において消失する為、導電膜104の下面側にて周辺部のプラズマ密度を高くしておけば、プラズマが下がっていくときに内側への拡散と内壁での消失によって、結果としてウエハW上のプラズマ密度がより一層均一性の高いものになる。

なお導電膜104は、誘電体103の上面に形成してもよいし、誘電体103の中に挟み込んでもよい。また処理ガスをプラズマ化するための電源部としてはマイクロ波電源部に限らずRF電源部やUHF電源部でもよく、本明細書では、これらを高周波電源部として扱っている。更にまた本発明は成膜処理に限らずエッチングやアッシング処理を行う場合に適用してもよい。

上述したように、表皮厚さよりも薄いあるいは表皮厚さ程度の厚さの導電膜をリークした電界を利用してプラズマを発生させることにより、基板上においてプラズマ密度の均一性が高く、この結果基板に対して均一性の高いプラズマ処理を施すことができる。

特許請求の範囲

1. 高周波電源部から平面状のアンテナ及び高周波透過窓を通じて真空容器内にプラズマ生成用の高周波を供給し、真空容器内に供給された処理ガスを高周波のエネルギーによってプラズマ化し、そのプラズマにより、真空容器内の載置台に載置された基板に対して処理を行うプラズマ処理装置において、
前記高周波透過窓の真空雰囲気側の面からアンテナに至るまでの領域の側周部を囲むように電磁波吸収体を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。
2. 電磁波吸収体は周方向に互いに空間部をおいて複数に分割されたことを特徴とする、請求項1に記載のプラズマ処理装置。
3. 各電磁波吸収体の周方向の長さおよび空間部の周方向の長さは、高周波の波長を λg とすると $\lambda g/2$ よりも小さいことを特徴とする、請求項2に記載のプラズマ処理装置。
4. 電磁波吸収体は、その横断面の周方向幅が真空容器中心に近づくに従って小さく形成されていることを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。
5. 高周波電源部から平面状のアンテナ及び高周波透過窓を通じて真空容器内にプラズマ生成用の高周波を供給し、真空容器内に供給された処理ガスを高周波のエネルギーによってプラズマ化し、そのプラズマにより、真空容器内の載置台に載置された基板に対して処理を行うプラズマ処理装置において、
前記高周波透過窓とプラズマ発光領域との間から高周波透過窓のアンテナ側の面に至るまでの領域を、定在波の発生を抑えるために、導電体により高周波の伝播方向と直交方向に分割することを特徴とするプラズマ処理装置。
6. 前記導電体の載置台側の端部は、プラズマ発光領域に食い込んでいることを特徴とする、請求項5に記載のプラズマ処理装置。

7. 前記導電体の端部のプラズマ発光領域への食い込み量は、5～10 mmであることを特徴とする、請求項6に記載のプラズマ処理装置。

8. 前記導電体は、載置台の中心軸をほぼ中心とする円形またはリング状に形成された第1の導電体を含むことを特徴とする、請求項5に記載のプラズマ処理装置。

9. 前記導電体は、第1の導電体の外側に第1の導電体と同心円状に設けられたリング状の第2の導電体を含むことを特徴とする、請求項8に記載のプラズマ処理装置。

10. 第1の導電体の内径 R_1 は、高周波の波長を λ とすると $\lambda/2 \leq R_1 < \lambda$ であることを特徴とする、請求項8または9に記載のプラズマ処理装置。

11. 第1の導電体の内径 R_1 は、高周波の波長を λ とすると $\lambda/2 \leq R_1 < \lambda$ であり、

径方向に互いに隣り合う導電体の離間距離 R_2 は、高周波の波長を λ とすると $\lambda/2 \leq R_2 < \lambda$ であることを特徴とする、請求項9に記載のプラズマ処理装置。

—12.— 放射状に延びる導電体を周方向に複数設けて前記領域を周方向に分割することを特徴とする、請求項5に記載のプラズマ処理装置。

要約書

アンテナ 3 2 から高周波透過窓 3 までの領域を囲むように誘電損失または磁気損失の大きい材料からなる電磁波吸収体 4 を設け、マイクロ波の反射を抑えることにより、定在波の発生を抑制する。

(図 1)